

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-49781

(43) 公開日 平成9年(1997)2月18日

(51) Int.Cl.⁸

G 0 1 M 11/00

識別記号

庁内整理番号

F I

G 0 1 M 11/00

技術表示箇所

T

審査請求 未請求 請求項の数16 F D (全 13 頁)

(21) 出願番号

特願平7-222677

(22) 出願日

平成7年(1995)8月8日

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 菅谷 経子

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(72) 発明者 中川 正弘

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

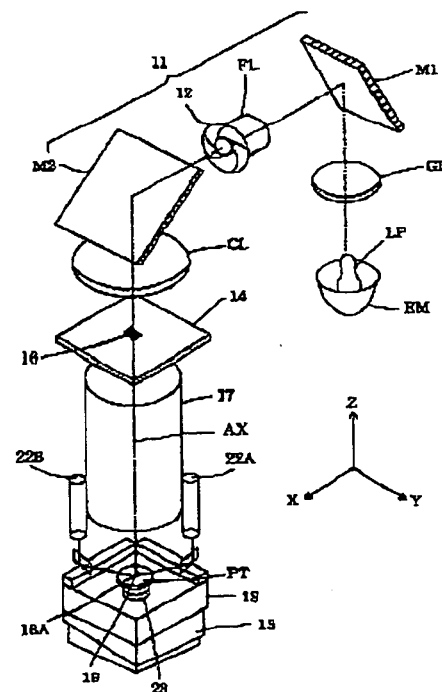
(74) 代理人 弁理士 山口 孝雄

(54) 【発明の名称】 光学系の検査装置および該検査装置を備えた投影露光装置

(57) 【要約】

【課題】 実使用状態での光学系の収差状態および光学調整状態を再現性良く検査し、更に効率良く収差補正および光学調整を行う。

【解決手段】 光学系の収差状態および光学調整状態を検査する検査装置において、光学系を介して形成されたパターンの像を検出するための像検出手段と、像検出手段において検出されるパターンの像をデフォーカスさせるためのデフォーカス手段と、像検出手段において各デフォーカス状態で検出されたパターンの像の位置変化に基づいて光学系の収差状態および光学調整状態を検査するための検査手段と、を備えている。



特開平9-49781

【特許請求の範囲】

【請求項1】 光学系の収差状態および光学調整状態を検査する検査装置において、前記光学系を介して形成されたパターンの像を検出するための像検出手段と、前記像検出手段において検出される前記パターンの像をデフォーカスさせるためのデフォーカス手段と、前記像検出手段において各デフォーカス状態で検出された前記パターンの像の位置変化に基づいて前記光学系の収差状態および光学調整状態を検査するための検査手段と、を備えていることを特徴とする検査装置。

【請求項2】 前記デフォーカス手段は、前記パターン、前記光学系および前記像検出手段のうち少なくとも1つを前記光学系の光軸に沿って移動させることを特徴とする請求項1に記載の検査装置。

【請求項3】 前記検査手段は、互いに異なる形状を有する複数のパターンに対する前記パターンの像の位置変化の差に基づいて前記光学系の収差状態および光学調整状態を検査することを特徴とする請求項1または2に記載の検査装置。

【請求項4】 前記光学系の収差状態および光学調整状態の検査感度を制御するために、前記パターンの照明状態、前記パターンの形状、および前記デフォーカスの範囲のうち少なくとも1つを変化させるための感度制御手段をさらに備えていることを特徴とする請求項1乃至3のいずれか1項に記載の検査装置。

【請求項5】 光学系の収差状態および光学調整状態を検査する検査装置において、前記光学系に対して光束を供給するための光束供給手段と、前記光学系を介して形成された前記光束の集光束を検出するための光検出手段と、前記光学系を介して形成される前記集光束の集光点を前記光検出手段に対してデフォーカスさせるためのデフォーカス手段と、前記光検出手段において各デフォーカス状態で検出された前記集光束の位置変化に基づいて前記光学系の収差状態および光学調整状態を検査するための検査手段と、を備えていることを特徴とする検査装置。

【請求項6】 前記デフォーカス手段は、前記光束供給手段、前記光学系および前記光検出手段のうち少なくとも1つを前記光学系の光軸に沿って移動させることを特徴とする請求項5に記載の検査装置。

【請求項7】 前記検査手段は、互いに異なる形状を有する複数の光束に対する前記集光束の位置変化の差に基づいて前記光学系の収差状態および光学調整状態を検査することを特徴とする請求項5または6に記載の検査装置。

【請求項8】 前記光学系の収差状態および光学調整状

態の検査感度を制御するために、前記光束の形状および前記集光点のデフォーカス範囲のうち少なくとも一方を変化させるための感度制御手段をさらに備えていることを特徴とする請求項5乃至7のいずれか1項に記載の検査装置。

【請求項9】 光学系の収差状態および光学調整状態を検査する検査装置において、前記光学系を介して形成された位相パターンの像を検出するための像検出手段と、前記像検出手段において検出される前記位相パターンの像をデフォーカスさせるためのデフォーカス手段と、前記像検出手段において各デフォーカス状態で検出された前記位相パターンの像の非対称性の変化に基づいて前記光学系の収差状態および光学調整状態を検査するための検査手段と、を備えていることを特徴とする検査装置。

【請求項10】 前記デフォーカス手段は、前記位相パターン、前記光学系および前記像検出手段のうち少なくとも1つを、前記光学系の光軸に沿って移動させることを特徴とする請求項9に記載の検査装置。

【請求項11】 前記検査手段は、互いに異なる形状を有する複数の位相パターンに対する前記位相パターンの像の非対称性の変化の差に基づいて前記光学系の収差状態および光学調整状態を検査することを特徴とする請求項9または10に記載の検査装置。

【請求項12】 前記光学系の収差状態および光学調整状態の検査感度を制御するために、前記位相パターンの照明状態、前記位相パターンの形状、および前記デフォーカスの範囲のうち少なくとも1つを変化させるための感度制御手段をさらに備えていることを特徴とする請求項9乃至11のいずれか1項に記載の検査装置。

【請求項13】 転写パターンが形成されたマスクを照明するための照明光学系と、前記転写パターンの像を感光性の基板上に形成するための投影光学系とを備えた投影露光装置において、前記投影光学系の収差状態と前記照明光学系および前記投影光学系の光学調整状態とを検査するための請求項1乃至12のいずれか1項に記載の検査装置と、前記検査装置で検出した前記投影光学系の収差状態に基づいて、前記投影光学系の諸収差を補正するための収差補正手段と、前記検査装置で検出した前記照明光学系および前記投影光学系の光学調整状態に基づいて、前記照明光学系および前記投影光学系の光学調整を行うための光学調整手段とをさらに備えていることを特徴とする投影露光装置。

【請求項14】 感光性基板上に形成された位置合わせ用マークを照明するための照明光学系と、前記位置合わせ用マークからの光を検出するための検出光学系とを有し、前記感光性基板の位置決めを行う位置合わせ装置を備えた投影露光装置において、

特開平9-49781

前記検出光学系の収差状態と前記照明光学系および前記検出光学系の光学調整状態とを検査するための請求項1乃至12のいずれか1項に記載の検査装置と、

前記検査装置で検出した前記検出光学系の収差状態に基づいて、前記検出光学系の諸収差を補正するための収差補正手段と、

前記検査装置で検出した前記照明光学系および前記検出光学系の光学調整状態に基づいて、前記照明光学系および前記検出光学系の光学調整を行うための光学調整手段とをさらに有することを特徴とする、位置合わせ装置を備えた投影露光装置。

【請求項15】 感光性基板上に形成されたパターンを照明するための照明光学系と、前記パターンからの光を検出するための検出光学系とを備え、前記パターンの重ね合わせ測定を行う重ね合わせ測定装置において、前記検出光学系の収差状態と前記照明光学系および前記検出光学系の光学調整状態とを検査するための請求項1乃至12のいずれか1項に記載の検査装置と、前記検査装置で検出した前記検出光学系の収差状態に基づいて、前記検出光学系の諸収差を補正するための収差補正手段と、前記検査装置で検出した前記照明光学系および前記検出光学系の光学調整状態に基づいて、前記照明光学系および前記検出光学系の光学調整を行うための光学調整手段とをさらに備えていることを特徴とする重ね合わせ測定装置。

【請求項16】 マスク上に形成された転写用パターンを感光性基板上に投影露光する投影露光装置において、前記投影露光装置は、請求項15に記載の重ね合わせ測定装置を備えていることを特徴とする投影露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は光学系の検査装置および該検査装置を備えた投影露光装置に関し、特に半導体素子や液晶表示素子等を製造するリソグラフィ工程で用いる投影露光装置の投影光学系や位置合わせ装置および重ね合わせ測定装置等の光学系に対する収差状態および光学調整状態の検査および調整に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 従来、半導体素子や液晶表示素子等を製造するリソグラフィ工程で用いる投影露光装置では、マスクに形成されたパターンを投影光学系を介して感光性基板であるウエハ上に転写する。すなわち、ウエハ上にすでに転写されたパターンに対して、投影光学系を介して形成されるマスクパターンの投影像を位置合わせ装置（アライメント系）により位置合わせして、重ね合わせ露光を行う。さらに、投影露光装置に内設または外設された重ね合わせ測定装置により、上記位置合わせの良否を判定している。

【0003】 この場合、投影光学系の光学調整が不十分

だったり、投影光学系に収差が残存していると、マスクパターンの投影像が正確に結像することができず、ウエハ上に歪みのある転写パターンが形成される。また、位置合わせ装置の光学調整が不十分だったり、位置合わせ装置の光学系に収差が残存していると、マスクとウエハとの正確な位置合わせを行うことができず、高精度な重ね合わせ露光を行うことができない。さらに、重ね合わせ測定装置についても、光学調整不良や残留収差があると、高精度な重ね合わせ測定を行うことができない。

【0004】 そこで、マスクの光透過部分に形成した複数の遮光パターンを投影光学系を介してウエハ上に転写し、ウエハ上に形成されたレジスト像の非対称量を電子顕微鏡を用いて観察して、投影光学系の収差を検査する方法が従来から採用されている。また、特開平5-118957号公報に開示されているように、投影光学系を介して形成されたマスク遮光パターンの空間像を検出することによって、投影光学系の非対称収差を検査する方法が提案されている。

【0005】 さらに、光学調整については、特開平6-69097号公報や特開平6-132197号公報などに、光軸ずれや光軸の傾斜を補正する方法が提案されている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、レジスト像を電子顕微鏡を用いて観察する方法では、ウエハ上にレジスト像を実際に形成する必要がある。このため、検査に先立って煩雑な工程に長時間を要した。さらに、レジスト像の検査には、通常、走査型電子顕微鏡（SEM）を用いるが、SEMの分解能は操作者の個人差や装置の状態に依存して変化するので、検査再現性が良くなかった。

【0007】 また、特開平5-118957号公報に開示の空間像を用いる方法では、照明 σ （結像開口数に対する照明開口数の比）を小さくしないと十分な効果を得ることができない。ところが、照明 σ を変化させると光学系の波面収差に対する光束の寄与の仕方が変化する。このため、照明 σ を絞った状態で得られた空間像に基づいて求められた収差は、実使用状態における収差とは異なってしまう。

【0008】 さらに、特開平6-69097号公報や特開平6-132197号公報などに開示の光学調整方法では、光学系のテレセントリシティ（以下、「テレセン」という）または光束のケラレ（以下、「ケラレ」という）のいずれか一方だけを調整している。したがって、テレセンおよびケラレの双方を調整することができなかった。

【0009】 本発明は、前述の課題に鑑みてなされたものであり、実使用状態またはそれに準じた状態での光学系の収差状態および光学調整状態を再現性良く検査することのできる光学系の検査装置と、該検査装置で検出し

特開平9-49781

た当該光学系の収差状態および光学調整状態の情報に基づいて当該光学系の収差補正や光学調整を行うための手段とを備えた投影露光装置を提供することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】前記課題を解決するために、本発明の第1発明においては、光学系の収差状態および光学調整状態を検査する検査装置において、前記光学系を介して形成されたパターンの像を検出するための像検出手段と、前記像検出手段において検出される前記パターンの像をデフォーカスさせるためのデフォーカス手段と、前記像検出手段において各デフォーカス状態で検出された前記パターンの像の位置変化に基づいて前記光学系の収差状態および光学調整状態を検査するための検査手段と、を備えていることを特徴とする検査装置を提供する。

【0011】第1発明の好ましい態様によれば、前記デフォーカス手段は、前記パターン、前記光学系および前記像検出手段のうち少なくとも1つを前記光学系の光軸に沿って移動させる。また、前記検査手段は、互いに異なる形状を有する複数のパターンに対する前記パターンの像の位置変化の差に基づいて前記光学系の収差状態および光学調整状態を検査してもよい。

【0012】また、本発明の第2発明においては、光学系の収差状態および光学調整状態を検査する検査装置において、前記光学系に対して光束を供給するための光束供給手段と、前記光学系を介して形成された前記光束の集光束を検出するための光検出手段と、前記光学系を介して形成される前記集光束の集光点を前記光検出手段に対してデフォーカスさせるためのデフォーカス手段と、前記光検出手段において各デフォーカス状態で検出された前記集光束の位置変化に基づいて前記光学系の収差状態および光学調整状態を検査するための検査手段と、を備えていることを特徴とする検査装置を提供する。

【0013】第2発明の好ましい態様によれば、前記移動手段は、前記光束供給手段、前記光学系および前記光検出手段のうち少なくとも一方を前記光学系の光軸に沿って移動させる。また、前記検査手段は、互いに異なる形状を有する複数の光束に対する前記集光束の位置変化の差に基づいて前記光学系の収差状態および光学調整状態を検査してもよい。

【0014】さらに、本発明の第3発明においては、光学系の収差状態および光学調整状態を検査する検査装置において、前記光学系を介して形成された位相パターンの像を検出するための像検出手段と、前記像検出手段において検出される前記位相パターンの像をデフォーカスさせるためのデフォーカス手段と、前記像検出手段において各デフォーカス状態で検出された前記位相パターンの像の非対称性の変化に基づいて前記光学系の収差状態および光学調整状態を検査するための検査手段と、を備

えていることを特徴とする検査装置を提供する。

【0015】第3発明の好ましい態様によれば、前記デフォーカス手段は、前記位相パターン、前記光学系および前記像検出手段のうち少なくとも1つを、前記光学系の光軸に沿って移動させる。また、前記検査手段は、互いに異なる形状を有する複数の位相パターンに対する前記位相パターンの像の非対称性の変化の差に基づいて前記光学系の収差状態および光学調整状態を検査してもよい。

【0016】また、本発明の別の局面によれば、転写パターンが形成されたマスクを照明するための照明光学系と、前記転写パターンの像を感光性の基板上に形成するための投影光学系とを備えた投影露光装置において、前記投影光学系の収差状態と前記照明光学系および前記投影光学系の光学調整状態とを検査するための請求項1乃至12のいずれか1項に記載の検査装置と、前記検査装置で検出した前記投影光学系の収差状態に基づいて、前記投影光学系の諸収差を補正するための収差補正手段と、前記検査装置で検出した前記照明光学系および前記投影光学系の光学調整状態に基づいて、前記照明光学系および前記投影光学系の光学調整を行うための光学調整手段とをさらに備えていることを特徴とする投影露光装置を提供する。

【0017】

【発明の実施の形態】図1は、光学系の調整状態を示す図であって、(a)はテレセンが残存している状態を、(b)はケラレが残存している状態をそれぞれ示している。光学系の調整状態によっては、物体面や光学系あるいは検出手段のいずれかのデフォーカスを行ったとき、検出面において像の位置ずれが生じる場合がある。図1(a)はその代表例であり、光学系の光軸に対して光源と開口絞りとが対称的に偏心している。その結果、検出面を光軸方向にデフォーカスさせると、検出面上において像の位置ずれが起こる。本明細書では、このような現象の生じる光学調整状態を「テレセン」が残存している状態という。

【0018】また、光学系の調整状態によっては、結像光学系内の開口絞り（結像開口絞り）に対して回折光の分布が非対称にケラレ（逡光され）る場合がある。図1(b)はその代表例であり、光学系の光軸に対して結像開口絞りのみが偏心している。その結果、検出面上での像は、通常、非対称に崩れる。本明細書では、このような現象の生じる光学調整状態を「ケラレ」が残存している状態という。実際の光学系の光学調整状態は、上記のテレセンとケラレとが混在した状態となっている。

【0019】図2は、第1発明において、各デフォーカス状態でパターン像の位置変化と諸収差との関係を示す図である。第1発明では、検査すべき光学系（被検光学系）を介して形成されたパターンの空間像の位置 x を、たとえばベストフォーカス状態（ $Z=0$ ）を挟んだ

特開平9-49781

複数のデフォーカス状態（デフォーカス量 Z ）においてそれぞれ計測（テレセン計測）する。なお、被検光学系のベストフォーカス位置（ $Z=0$ ）は、たとえば被検光学系を介して形成された明暗パターン像の光強度が最大になる位置として求めることができる。

【0020】被検光学系に残収差がなく且つ被検光学系の光学調整が理想的である場合、図2（a）において直線L1で示すように、デフォーカス量 Z に依存することなく像位置 x は一定である。一方、被検光学系にテレセンが残存している場合、図2（a）において直線L2で示すように、像位置 x はデフォーカス量 Z に依存してほぼ線形的に変化する。そして、この直線L2の傾き（ x/Z ）は、テレセンの残存量にほぼ比例する。なお、本明細書において、上述の直線L1およびL2を、「テレセン計測線」という。

【0021】また、被検光学系に縦収差のみがある場合には、テレセン計測線は、図2（a）において直線L1で示すようになり、デフォーカス量 Z に依存することなく像位置 x は一定である。しかしながら、被検光学系に横収差のみが残存している場合、テレセン計測線は、図2（b）において曲線L3で示すようになり、像位置 x はデフォーカス量 Z に依存して高次曲線状に変化する。そして、所定のデフォーカス範囲における曲線L3の x 方向のずれ量 α （すなわち曲線L3の直線に対するずれ量）は、横収差量にほぼ比例する。

【0022】なお、被検光学系において横収差に加えて縦収差も残存している場合、得られるテレセン計測線は、図2（b）に示すように、曲線L3を縦軸方向（ Z 方向）に沿って平行移動した曲線L4である。そして、この曲線L4の屈曲点Pに対応するデフォーカス量 Z_p は、被検光学系の縦収差量にほぼ比例する。なお、被検光学系のベストフォーカス位置（ $Z=0$ ）は、たとえば被検光学系を介して形成される明暗パターン像の光強度が最大になる位置として求めることができる。

【0023】以上のように、被検光学系に横収差および

$$\beta = \sum \{V_{iL} - V_{iR} / (V_{\max} - V_{\min})\} / n \quad (1)$$

ここで、

n ：周期数

\sum ： $i=1 \sim n$ までの総和記号

【0028】図4は、第3発明において、各デフォーカス状態での位相パターン像の非対称性の指標 β の変化と諸収差との関係を示す図である。被検光学系に残収差がなく且つケラレが存在しない理想的な光学調整状態では、図4（a）において直線L5で示すように、デフォーカス量 Z に依存することなく指標 β は0である。また、被検光学系に縦収差のみがある場合にも、図4

（a）において直線L5で示すようにデフォーカス量 Z に依存することなく指標 β は一定である。しかしながら、被検光学系に横収差のみが存在する場合、図4（a）において直線L6で示すように、指標 β はデフォ

縦収差がともに残存している場合、得られた曲線L4のずれ量 α に基づいて横収差量を、曲線L4の屈曲点Pに対応するデフォーカス量 Z_p に基づいて縦収差量をそれぞれ検出することができる。また、曲線L4の屈曲点Pにおける接線や曲線L4全体の直線近似に基づいて、テレセン量を求めることができる。このように、テレセン計測によって得られた曲線L4に基づいて、被検光学系の横収差量、縦収差量およびテレセン量を同時に再現性良く検出することができる。

【0024】第1発明では、被検光学系を介して形成されるパターン像の像位置をテレセン計測している。しかしながら、第2発明では、被検光学系を介して形成される集光束の位置をテレセン計測する。そして、第1発明と同様の原理に基づいて、被検光学系の横収差量、縦収差量およびテレセン量を同時に再現性良く検出することができる。

【0025】一方、第3発明では、各デフォーカス状態における位相パターン像の非対称性の変化に基づいて、被検光学系の横収差量、縦収差量およびケラレ量を同時に検出することが可能である。

【0026】図3は、位相パターン像の光強度に応じた信号 V を非計測方向に積分した積分信号 ΣV を、計測方向 S に対してプロットした図であって、位相パターン像の非対称性の指標 β を説明するための図である。図3に示すように、積分信号 ΣV は計測方向 S に沿って周期 B （ B ：パターンから撮像面までの倍率； P ：パターンのピッチ）毎に変化している。位相パターン像の非対称性を定量化するために、積分信号 ΣV の分布において i 番目の周期における図中左右の信号極小値をそれぞれ V_{iL} および V_{iR} とする。また、積分信号 ΣV の両端部分を除き各周期に亘る全体領域において、信号の最大値および最小値をそれぞれ V_{\max} および V_{\min} とする。

【0027】そして、位相パターン像の非対称性の指標 β を次の式（1）により求める。

一カス量 Z に依存してほぼ線形的に変化する。そして、この直線L6の傾き（ β/Z ）は、横収差量にほぼ比例する。

【0029】また、被検光学系において横収差に加えて縦収差も存在する場合、得られるテレセン計測線は、図4（a）に示すように、直線L6を横軸方向（ β 方向）に沿って平行移動した直線L7である。そして、ベストフォーカス位置（ $Z=0$ ）における平行移動量 L は、縦収差量にほぼ比例する。なお、被検光学系のベストフォーカス位置（ $Z=0$ ）は、たとえば被検光学系を介して形成された明暗パターン像の光強度が最大になる位置として求めることができる。

【0030】また、被検光学系においてケラレが存在する場合、図4（b）において折れ線L8で示すように、

特開平9-49781

指標 β はデフォーカス方向およびデフォーカス量 Z に依存してほぼ線形的に変化する。そして、この折れ線 $L8$ の直線 $L5$ に対する折れ曲がり量 $A(\beta/Z)$ は、ケラレ量にほぼ比例する。このように、第3発明においても、各デフォーカス状態における位相パターン像の非対称性の変化に基づいて、被検光学系の縦収差量、横収差量およびケラレ量を同時に再現性良く検出することができる。

【0031】第1発明においてテレセン計測線のずれ量 α が、デフォーカス範囲ばかりでなく、照明 σ （照明光学系の開口数と結像光学系の開口数との比）、パターン形状等に依存して変化する。したがって、照明 σ 、デフォーカス範囲、パターンのピッチ、デューティー比、テーパー、明暗差などを適宜変化させることにより、実使用状態での最適な検査ができるように検査感度を制御するのが好ましい。

【0032】なお、第2発明においても同様に、集光点の相対移動範囲や光束の形状などを適宜変化させることにより、検査感度を制御することができる。また、第3発明においても、照明 σ 、デフォーカス範囲、位相パターンのピッチ、デューティー比、段差などを適宜変化させることにより、実使用状態での最適な検査ができるように検査感度を制御することが望ましい。

【0033】さらに、本発明の投影露光装置では、投影光学系の収差状態と照明光学系および投影光学系の光学調整状態とを第1発明乃至第3発明の検査装置で検査する。そして、検出した収差状態に基づいて投影光学系の諸収差を補正するとともに、検出した光学調整状態に基づいて照明光学系および投影光学系の光学調整を行う。したがって、収差が良好に補正され且つ光学調整された投影光学系を介して、精度の高い重ね合わせ露光を行うことが可能になる。

【0034】以下、本発明の実施例を、添付図面に基づいて説明する。図5は、本発明の第1実施例にかかる検査装置を備えた投影露光装置の構成を概略的に示す斜視図である。図5では、投影露光装置の投影光学系 PL の光軸 AX に対して平行に Z 軸が、光軸 AX に垂直な平面内において X 軸および Y 軸が互いに直交するようにそれぞれ設定されている。

【0035】図5の投影露光装置は、たとえば超高圧水銀ランプからなる光源 LP を備えている。光源 LP は、回転楕円面からなる反射面を有する集光鏡（楕円鏡） EM の第1焦点位置に位置決めされている。したがって、光源 LP から射出された照明光束は、楕円鏡 EM の第2焦点位置に光源像（二次光源）を形成する。

【0036】二次光源からの光は、コリメートレンズ GL およびミラー $M1$ を介した後、平行光束となってフライアイレンズ FL に入射する。フライアイレンズ FL に入射した光束は、フライアイレンズ FL を構成する複数のレンズエレメントにより二次元的に分割され、フライ

アイレンズ FL の後側焦点位置（すなわち射出面近傍）に複数の光源像（三次光源）を形成する。

【0037】複数の光源像からの光束は、フライアイレンズ FL の射出面に配置された可変開口絞り 12 により制限された後、ミラー $M2$ を介してコンデンサーレンズ CL に入射する。コンデンサーレンズ CL を介して集光された光は、転写用のパターンが形成されたマスク 14 を重畳的に均一に照明する。このように、光源 PL 、楕円鏡 EM 、コリメートレンズ GL 、ミラー $M1$ 、フライアイレンズ FL 、可変開口絞り 12 、ミラー $M2$ 、およびコンデンサーレンズ CL は、照明光学系 11 を構成している。

【0038】露光に際して、マスク 14 を透過した光束は、投影光学系 17 を介して感光基板であるウエハ（不図示）に達する。こうして、ウエハ上には、マスク 14 のパターン像が形成される。ウエハは、投影光学系 17 の光軸 AX （ Z 方向に平行）に対して垂直な XY 平面内において二次元的に移動可能な XY ステージ 18 および投影光学系 17 の光軸 AX 方向に沿って移動可能な Z ステージ 13 上に支持されている。したがって、ウエハを二次元的に移動させながら露光を行うことにより、ウエハの各露光領域にマスク 14 のパターンを逐次転写することができる。

【0039】図5の投影露光装置には、斜入射光方式のオートフォーカス系（ $22A$ 、 $22B$ ）が設けられている。斜入射光方式のオートフォーカス系では、送光系 $22A$ がウエハの表面に向かって斜めから光を照射する。ウエハ表面上で正反射された光は受光系 $22B$ で受光され、反射光の位置変化に基づいてウエハの Z 方向位置が検出される。こうして、オートフォーカス系（ $22A$ 、 $22B$ ）の作用により、露光に際してウエハ表面を投影光学系 17 の結像面（マスク 14 と共役な面）にほぼ一致させることができる。

【0040】一方、検査に際して、 XY ステージ 18 上には、ウエハに代えて基準部材 PT および受光器 23 が設置される。そして、オートフォーカス系（ $22A$ 、 $22B$ ）および Z ステージ 13 の作用により、基準部材 PT の表面を投影光学系 17 に対して所定のデフォーカス位置に位置決めする。この場合、まず、オートフォーカス系（ $22A$ 、 $22B$ ）を用いて、基準部材 PT の表面を投影光学系 17 の結像面に対してほぼ一致させ、この位置をベストフォーカス位置（ $Z=0$ ）とする。次いで、ベストフォーカス位置（ $Z=0$ ）を基準として Z ステージ 13 を所定量 Z （デフォーカス量）だけ駆動することにより、所定のデフォーカス位置に基準部材 PT の表面を位置決めすることができる。なお、パターン 16 や投影光学系 17 を Z 方向に移動させて、デフォーカス状態を形成することもできる。

【0041】各デフォーカス状態において、マスク 14 に形成された検査用パターン 16 を透過した光束は、投

特開平9-49781

影光学系17を介して基準部材PTの表面に達する。こうして、基準部材PTの表面には、マスク14の検査用パターン像16Aが各デフォーカス状態で形成される。パターン像16Aからの光は、基準部材PTの表面に形成されたスリット19を介して受光器23に入射する。スリット19は、たとえば1本のスリットパターンで形成されている。したがって、パターン像16Aとスリット19とを所定方向に相対移動させるスリットスキャン方式により、受光器23においてパターン像16Aの光強度分布に応じた電気信号を得ることができる。

【0042】図6は、第1実施例の各デフォーカス状態において投影光学系17を介して形成される検査用パターン像16Aの位置変化と投影光学系17の収差との関係についてのシミュレーション結果を示す図である。なお、本シミュレーションにおいて、検査用パターン16は、ウェハ上において線幅および間隔がともに $0.5\mu\text{m}$ となる明暗パターンである。また、投影光学系17の開口数NAは0.5であり、露光の波長 λ は 365nm である。そして、可変開口絞り12の開口径に依存する照明 σ の値は、0.5である。

【0043】図6(a)は、被検光学系である投影光学系17に横収差としてコマ収差のみを与えたときのシミュレーション結果を示す図であって、縦軸にはテレセン計測線のずれ量 α (図2(b)の曲線L4のずれ量 α を参照)を、横軸には横収差量($\text{RMS}_{\Delta s}[\lambda]$)を示している。図6(a)に示すように、テレセン計測線のずれ量 α と投影光学系17の横収差量との間には良好な線形関係が成立していることがわかる。

【0044】図6(b)は、横収差量を $\text{RMS}_{\Delta s}=0.016\lambda$ で一定とし、照明 σ を0.3、0.5および0.7と変化させたときのテレセン計測線のずれ量 α の変化を示している。一方、図6(c)は、横収差量を $\text{RMS}_{\Delta s}=0.016\lambda$ で一定とし、パターンの線幅および間隔をともに $0.5\mu\text{m}$ 、 $0.75\mu\text{m}$ および $1.0\mu\text{m}$ と変化させたときのテレセン計測線のずれ量 α の変化を示している。

【0045】図6(b)および(c)を参照すると、パターンの変化に対するテレセン計測線のずれ量 α の感度に比べて、照明 σ の変化に対するテレセン計測線のずれ量 α の感度はあまり高くないことがわかる。したがって、検査感度の制御に関しては、検査における照明 σ を実使用状態における値と一致させ、デフォーカスの範囲やパターンの形状等を変化させることにより、検査感度を制御するのが好ましい。

【0046】図6(d)は、投影光学系17に対して横収差に加えて縦収差として球面収差も与えたときのシミュレーション結果を示す図であって、縦軸にはテレセン計測線の屈曲点に対応するデフォーカス量 Z_p (図2(b)の曲線L4の Z_p を参照)を、横軸には縦収差量($\text{RMS}_{\Delta z}[\lambda]$)を示している。なお、図6(d)に

おいて、横収差量は $\text{RMS}_{\Delta s}=0.016\lambda$ で一定である。また、 $1\mu\text{m}$ の明暗パターンの像の光強度が最大になる位置からベストフォーカス位置($Z=0$)を求めている。図6(d)に示すように、テレセン計測線の屈曲点のデフォーカス量 Z_p と投影光学系17の縦収差量との間には良好な線形関係が成立していることがわかる。

【0047】なお、得られたテレセン計測線の屈曲点における接線やテレセン計測線の全体的な直線近似に基づいて、投影光学系17のテレセン量を求めることができることはすでに説明したとおりである。こうして、第1実施例では、各デフォーカス状態におけるパターン像の位置変化に基づいて、投影露光装置の投影光学系17の横収差量、縦収差量およびテレセン量を同時に且つ再現性良く検出することができる。

【0048】また、互いに異なる形状を有する複数のパターンに対するパターン像の位置変化の差に基づいて、投影光学系17の収差状態および投影露光装置の光学調整状態を検査することもできる。さらに、第1実施例では、テレセン計測線のずれ量 α として、所定のデフォーカス範囲内における像位置の変化量を用いている。しかしながら、テレセン計測線のずれ量 α として、テレセン計測線の二次成分の量や三次成分の量を用いても良い。

【0049】図5の投影露光装置において、投影光学系17の縦収差および横収差を補正するには、投影光学系17を構成する各レンズ成分のうち縦収差や横収差に対して敏感なレンズを、光軸AXに対してシフト(移動)させたりチルト(傾斜)させたりする。一方、図5の投影露光装置において、光学調整状態を適正に調整するには、可変開口絞り12や投影光学系17中の開口絞りを光軸AXに対して適宜駆動する。

【0050】図7は、本発明の第2実施例にかかる検査装置の構成を概略的に示す図である。第1実施例では光学系を介して形成されるパターン像の位置をテレセン計測しているが、第2実施例では光学系を介して形成される集光束の位置をテレセン計測している。このような光学系としては、特開昭62-038303号公報に記載のLSAや、レーザーリベラ装置(特開平6-234092号公報)などがある。図7の検査装置は、光束を供給するための光源71を備えている。光源71からの光束は、被検光学系72を介して集光される。集光束の位置は、たとえばスリット板73と集光束の位置とを相対移動させるスリットスキャン方式により、受光器74で検出することができる。

【0051】そして、第2実施例では、ステージ75の駆動によってスリット板73および受光器74を被検光学系72の光軸方向に沿って適宜移動させながら、集光束の位置をテレセン計測する。このように、第2実施例では、第1実施例におけるパターン像位置のテレセン計測を集光束位置のテレセン計測に置換しただけである。したがって、第2実施例においても、第1実施例と基本

特開平9-49781

的に同じテレセン計測線を得ることができ、第1実施例と同様の手法により、被検光学系72の横収差量、縦収差量およびテレセン量を同時に再現性良く検査することができる。

【0052】図8は、本発明の第3実施例にかかる検査装置を備えた投影露光装置の構成を概略的に示す図である。なお、第1実施例では投影露光装置の投影光学系および照明光学系を検査しているが、第3実施例では投影露光装置のオフアクシス方式のアライメント系の結像光学系および照明光学系を検査している。図8では、投影露光装置の投影光学系PLの光軸に対して平行にZ軸が、光軸に垂直な平面内において図8の紙面に平行な方向にX軸が、Z軸およびX軸に垂直な方向にY軸がそれぞれ設定されている。

【0053】図8に示す投影露光装置は、適当な露光光でマスクとしてのレチクルRを均一に照明するための露光用照明光学系（不図示）を備えている。レチクルRはレチクルステージ101上においてXY平面とほぼ平行に支持されており、そのパターン領域PAには転写すべき回路パターンが形成されている。レチクルRを透過した光は、投影光学系PLを介して感光基板であるウエハ（またはガラスプレート）Wに達し、ウエハW上にはレチクルRのパターン像が形成される。

【0054】なお、ウエハWは、ウエハホルダ121を介してZステージ122上においてXY平面とほぼ平行に支持されている。Zステージ122は、ステージ制御系124によって、投影光学系PLの光軸に沿って駆動されるようになっている。Zステージ122はさらに、XYステージ123上に支持されている。XYステージ123は、同じくステージ制御系124によって、投影光学系PLの光軸に対して垂直なXY平面内において二次元的に駆動されるようになっている。

【0055】投影露光の際には、パターン領域PAとウエハW上の各露光領域とを光学的に位置合わせ（アライメント）する必要がある。そこで、ウエハW上に形成されたアライメント用の段差マークすなわちウエハマークWMの基準座標系における位置を検出し、その位置情報に基づいてアライメントが行われる。このように、ウエハマークWMの位置を検出してアライメントを行うのに、本発明のアライメント装置が使用される。

【0056】図8に示すアライメント装置は、照明光（アライメント光AL）を供給するために、たとえばハロゲンランプのような光源103を備えている。光源103からの光は、たとえば光ファイバーのようなライトガイド104を介して所定位置まで導かれる。ライトガイド104の射出端から射出された照明光は、必要に応じて照明開口絞り127で制限された後、適当な断面形状を有する照明光束となってコンデンサーレンズ129に入射する。

【0057】コンデンサーレンズ129を介したアライ

メント光ALは、一旦集光された後、照明視野絞り（不図示）を介して照明リレーレンズ105に入射する。照明リレーレンズ105を介して平行光となったアライメント光ALは、ハーフプリズム106を透過した後、第1対物レンズ107に入射する。第1対物レンズ107で集光されたアライメント光ALは、反射プリズム108の反射面で図中下方に反射された後、ウエハW上に形成されたアライメントマークであるウエハマークWMを照明する。

【0058】このように、光源103、ライトガイド104、照明開口絞り127、コンデンサーレンズ129、照明視野絞り（不図示）、照明リレーレンズ105、ハーフプリズム106、第1対物レンズ107、および反射プリズム108は、ウエハマークWMに照明光を照射するための照明光学系を構成している。

【0059】照明光に対するウエハマークWMからの反射光は、反射プリズム108および第1対物レンズ107を介して、ハーフプリズム106に入射する。ハーフプリズム106で図中上方に反射された光は、第2対物レンズ111を介して、指標板112上にウエハマークWMの像を形成する。指標板112を介した光は、リレーレンズ系（113、114）を介して、XY分岐ハーフプリズム115に入射する。そして、XY分岐ハーフプリズム115で反射された光はY方向用CCD116に、XY分岐ハーフプリズム115を透過した光はX方向用CCD117に入射する。なお、リレーレンズ系（113、114）の平行光路中には、必要に応じて結像開口絞り130が配置されている。

【0060】このように、反射プリズム108、第1対物レンズ107、ハーフプリズム106、第2対物レンズ111、指標板112、リレーレンズ系（113、114）、結像開口絞り130およびハーフプリズム115は、照明光に対するウエハマークWMからの反射光に基づいてマーク像を形成するための結像光学系を構成している。また、Y方向用CCD116およびX方向用CCD117は、結像光学系を介して形成されたマーク像を検出するための像検出手段を構成している。

【0061】こうして、Y方向用CCD116およびX方向用CCD117の撮像面には、マーク像が指標板112の指標パターン像とともに形成される。Y方向用CCD116およびX方向用CCD117からの出力信号は、信号処理系118に供給される。さらに、信号処理系118において信号処理（波形処理）により得られたウエハマークWMの位置情報は、主制御系125に供給される。

【0062】主制御系125は、信号処理系118からのウエハマークWMの位置情報に基づいて、ステージ制御信号をステージ制御系124に出力する。ステージ制御系124は、ステージ制御信号にしたがってXYステージ123を適宜駆動し、ウエハWのアライメントを行

特開平9-49781

う。なお、主制御系125には、たとえばキーボードのような入力手段126を介して、照明開口絞り127に対する指令や結像開口絞り130に対する指令が供給される。主制御系125は、これらの指令に基づき、駆動系128を介して照明開口絞り127を駆動したり、駆動系131を介して結像開口絞り130を駆動したりする。また、主制御系125は、後述する収差補正指令に基づき、第2対物レンズ111やリレーレンズ113を駆動する。

【0063】すでに説明したように、図3は、位相パターン像の光強度に応じた信号Vを非計測方向に積分した積分信号 ΣV を、計測方向Sに対してプロットした図であって、位相パターン像の非対称性の指標 β を説明するための図である。第3実施例では、位相パターンからなるウェハマークWMの像が撮像素子であるCCD(116, 117)の撮像面に形成される。したがって、図3

$$\beta = \Sigma \{ViL - ViR / (V_{\max} - V_{\min})\} / n \quad (1)$$

ここで、

n : 周期数

Σ : $i = 1 \sim n$ までの総和記号

なお、上述の式(1)では、指標 β を $(V_{\max} - V_{\min})$ で規格化(無次元化)しているが、かならずしも規格化する必要はない。

【0066】図9は、第3実施例の各デフォーカス状態において結像光学系を介して形成されるウェハマーク像(位相パターン像)の非対称性(β)の変化と結像光学系の収差との関係についてのシミュレーション結果を示す図である。なお、本シミュレーションにおいて、ウェハマークは、ウェハ上において線幅および間隙がともに6 μm で段差が85nmの位相パターンである。また、結像光学系の開口数NAは0.2であり、照明光すなわちアライメント光の波長 λ は656nmである。そして、結像光学系の開口数と照明光学系の開口数に依存する照明 σ の値は、0.8である。

【0067】図9(a)は、結像光学系に横収差としてコマ収差のみを与えたときのシミュレーション結果を示す図であって、縦軸には非対称性 β のデフォーカス量Zに対する傾き量 β/Z (図4(a)の直線L6の傾き β/Z を参照)を、横軸には横収差量(RMS $A_s[\lambda]$)を示している。図9(a)に示すように、この傾き量 β/Z と結像光学系の横収差量との間には良好な線形関係が成立していることがわかる。

【0068】図9(b)は、結像光学系に対してRMS $A_s = 0.036\lambda$ の横収差量に加えて縦収差として球面収差を与えたときのシミュレーション結果を示す図であって、縦軸にはベストフォーカス位置($Z=0$)における非対称性 β の差分である平行移動量L(図4(a)の直線L7の平行移動量Lを参照)を、横軸には縦収差量(RMS $S_s[\lambda]$)を示している。なお、1 μm の明暗パターンの像の光強度が最大となる位相から、ベストフ

ォ、撮像素子(116, 117)からの撮像信号Vを非計測方向に積分した積分信号 ΣV を計測方向Sに対してプロットしている。

【0064】図3に示すように、積分信号 ΣV は、計測方向Sに沿って周期BP(B:結像光学系の倍率, P:ウェハ上における位相パターンWMのピッチ)毎に変化する。位相パターン像の非対称性を定量化するために、積分信号 ΣV の分布において i 番目(図3では2番目)の周期における図中左右の信号極小値(落ち込みエッジ部の信号値)をそれぞれ ViL および ViR ($i=1, 2, 3, \dots$)とする。また、積分信号 ΣV の両端部分を除き各周期に亘る全体領域において、信号の最大値および最小値をそれぞれ V_{\max} および V_{\min} とする。

【0065】そして、位相パターン像の非対称性の指標 β を、すでに述べた式(1)により求める。

ォカス位置($Z=0$)を求めている。図9(b)に示すように、この平行移動量Lと結像光学系の縦収差量との間には良好な線形関係が成立していることがわかる。

【0069】図9(c)は、アライメント系にケラレを与えたときのシミュレーション結果を示す図であって、横軸には結像開口絞り130の偏心量($\sin \theta$)を、縦軸には非対称性 β のデフォーカス量Zに対する折れ曲がり量A(β/Z)(図4(b)の折れ線L8の直線L5に対する折れ曲がり量Aを参照)を示している。図9(c)に示すように、この折れ曲がり量A(β/Z)とケラレ量との間には良好な線形関係が成立していることがわかる。

【0070】このように、第3実施例では、各デフォーカス状態における位相パターン像の非対称性の変化に基づいて、アライメント系の結像光学系の横収差量、縦収差量およびケラレ量を同時に且つ再現性良く検出することができる。また、互いに異なる形状を有する複数の位相パターンに対するパターン像の非対称性の変化の差に基づいて、結像光学系の収差状態およびアライメント系の光学調整状態を検査することもできる。

【0071】検査用位相パターンの段差は、照明光すなわちアライメント光の中心波長において、 $\pi(2n+1)/4$ ($n=0, 1, 2, \dots$)のときに位相パターン像の非対称性の指標 β が最も敏感になる。また、位相パターン像の非対称性の指標 β の感度は、照明 σ 、パターンのピッチ、デューティー比、テーバー、段差にも依存する。したがって、これらのパラメータを適宜選択することにより実使用状態において最適な検査を行うことができるように検査感度を制御することが望ましい。

【0072】なお、上述の第3実施例では、位相パターン像の非対称性の指標 β を定量化するのに、信号の左右極小値を用いている。しかしながら、本出願人の出願による特願平7-20325号明細書に開示しているよう

特開平9-49781

に、一周期分の信号における左右の落ち込みエッジ部の幅を用いて位相パターン像の非対称性の指標 β を定量化することもできる。

- 【0073】図8のアライメント系において、照明開口絞り127および結像開口絞り130は、それぞれの位置によりテレセンおよびケラレの双方に影響を与える。したがって、照明開口絞り127および結像開口絞り130の双方を移動させながら、テレセンおよびケラレの調整を行う。ここで、第1発明または第2発明により測定されるテレセン量は、実際にはケラレの残留量にも依存する。一方、第3発明により測定されるケラレ量は、テレセンの残留量には依存しない。したがって、第1または第2発明により測定したテレセン量と、第3発明により測定したケラレ量との双方の測定情報に基づいて調整を行うことが望ましい。

【0074】以上の収差状態や光学調整状態の情報に基づいて、まず、照明開口絞り127の位置調整を行うには、駆動系128を介して照明開口絞り127を適宜駆動する。また、ライトガイド104の射出端が照明開口絞りを兼ねているような場合には、ライトガイド104を適宜駆動する。さらに、ライトガイド104とコンデンサレンズ129との間の光路中に、または照明リレーレンズ105とハーフプリズム106との間の光路中に、平行平板のような光束平行移動手段を設けて調整を行うこともできる。

【0075】また、結像開口絞り130の位置調整を行うには、駆動系131を介して結像開口絞り130を適宜駆動する。また、ハーフプリズム106と第2対物レンズ111との間の光路中に、またはリレーレンズ113とリレーレンズ114との間であって結像開口絞り130よりもウェハ側の光路中に、平行平板のような光束平行移動手段を設けて調整を行うこともできる。

【0076】さらに、結像光学系の縦収差の補正には、第2対物レンズ111やリレーレンズ113の一部のレンズを光軸に沿って適宜駆動する。また、結像光学系の横収差の補正には、第2対物レンズ111やリレーレンズ113のレンズ系全体または一部のレンズを光軸に対して垂直に偏心駆動する。なお、第2対物レンズ111やリレーレンズ113以外にも、結像光学系のレンズ成分であって縦収差や横収差に対して敏感なレンズ、たとえば対物レンズ107やリレーレンズ114のレンズ系全体または一部のレンズを光軸に沿って駆動したり光軸に対して偏心駆動してもよい。

【0077】ファースト露光による主尺とセカンド露光による副尺との位置ずれを計測し、重ね合わせ精度の測定を行う重ね合わせ測定装置にも、本発明を適用することができる。この場合、第1発明～第3発明の検査方法において、異なる2つのパターンとして主尺および副尺の位置や非対称性のフォーカスに対する変動量の差を計測し、その光学系の収差状態および光学調整状態を検査

し、更にその最適化を行ってもよい。

【0078】なお、本発明において、パターン像の位置、集光束の位置または位相パターン像の非対称性の検出を、撮像方式で行ってもよいしスリットによるスキャン方式で行ってもよい。また、本発明は、透過照明や落射照明（反射照明）のような照明方法の違いには依存しない。また、本発明の検査装置を、投影露光装置に内設または外設された重ね合わせ測定機や、検査すべき光学系を有する他の一般的な装置に適用することができる。

【0079】

【効果】以上説明したように、本発明によれば、パターン像の位置、集光束の位置、または位相パターン像の非対称性についてデフォーカスして計測することにより、実使用状態における被検光学系の収差状態や光学調整状態を所望の感度で再現性良く検査することができる。さらに、検査した被検光学系の収差状態や光学調整状態に応じて、被検光学系の収差補正および光学調整を効率的且つ適正に行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】光学系の調整状態を示す図であって、(a)はテレセンが残存している状態を、(b)はケラレが残存している状態をそれぞれ示している。

【図2】第1発明において、各デフォーカス状態でのパターン像の位置変化と諸収差との関係を示す図である。

【図3】位相パターン像の光強度に応じた信号Vを非計測方向に積分した積分信号 ΣV を、計測方向Sに対してプロットした図であって、位相パターン像の非対称性の指標 β を説明するための図である。

【図4】第3発明において、各デフォーカス状態での位相パターン像の非対称性の指標 β の変化と諸収差との関係を示す図である。

【図5】本発明の第1実施例にかかる検査装置を備えた投影露光装置の構成を概略的に示す斜視図である。

【図6】第1実施例の各デフォーカス状態において投影光学系17を介して形成される検査用パターン像16Aの位置変化と投影光学系17の収差との関係についてのシュミレーション結果を示す図である。

【図7】本発明の第2実施例にかかる検査装置の構成を概略的に示す図である。

【図8】本発明の第3実施例にかかる検査装置を備えた投影露光装置の構成を概略的に示す図である。

【図9】第3実施例の各デフォーカス状態において結像光学系を介して形成されるウェハマーク像（位相パターン像）の位置変化と結像光学系の収差との関係についてのシュミレーション結果を示す図である。

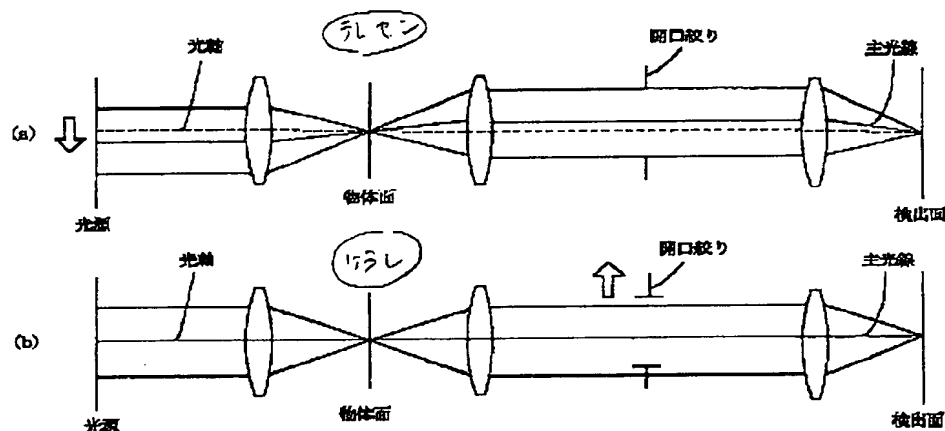
【符号の説明】

LP	光源
EM	楕円鏡
GL	コリメートレンズ
FL	フライアイレンズ

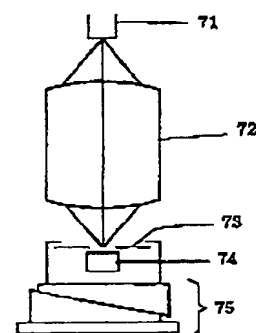
特開平9-49781

11	照明光学系	73	スリット板
12	可変開口絞り	74	受光器
CL	コデンスーレンズ	75	ステージ
13	Zステージ	104	ライトガイド
14	マスク	127	照明開口絞り
16	検査用パターン	106	ハーフプリズム
17	投影光学系	107	対物レンズ
18	XYステージ	111	第2対物レンズ
19	スリット	115	分岐プリズム
22	斜入射光方式のオートフォーカス系	116	CCD
23	受光器	118	信号処理系
71	光源	121	XYステージ
72	被検光学系	122	Zステージ

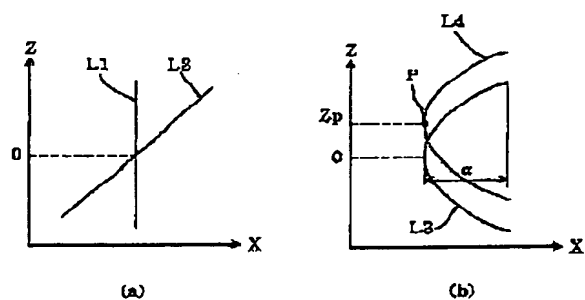
【図1】



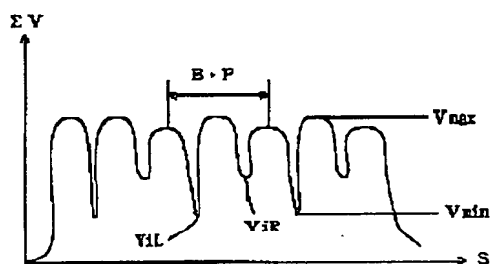
【図7】



【図2】

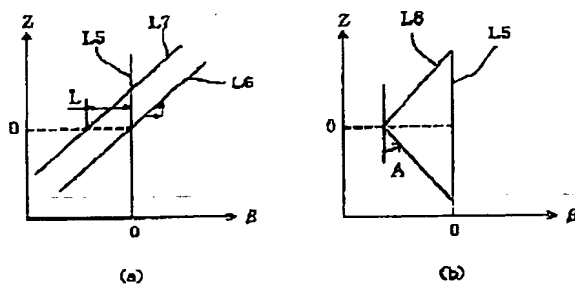


【図3】

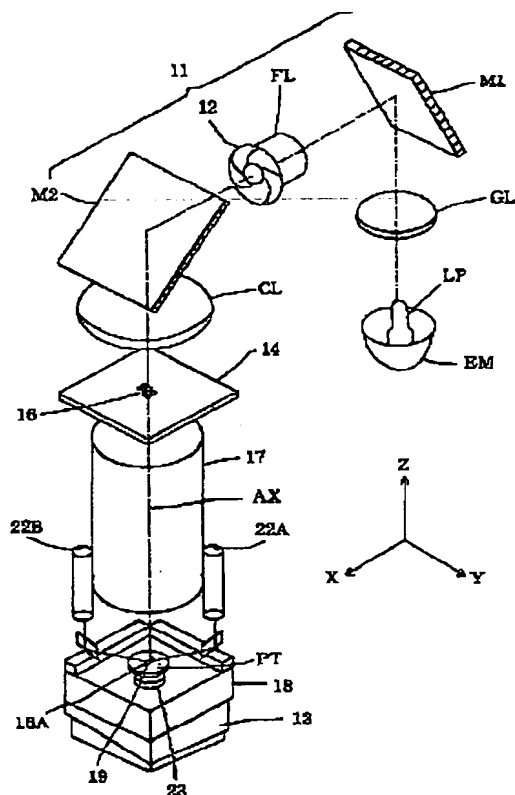


特開平9-49781

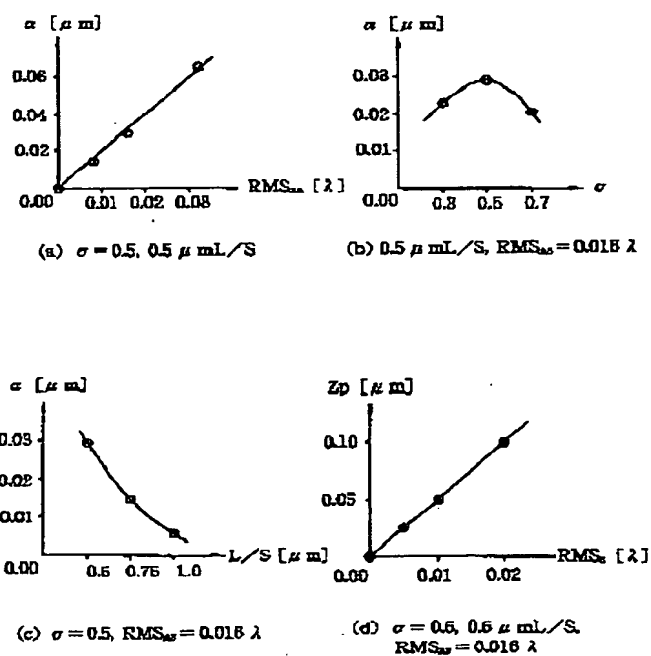
【図4】



【図5】

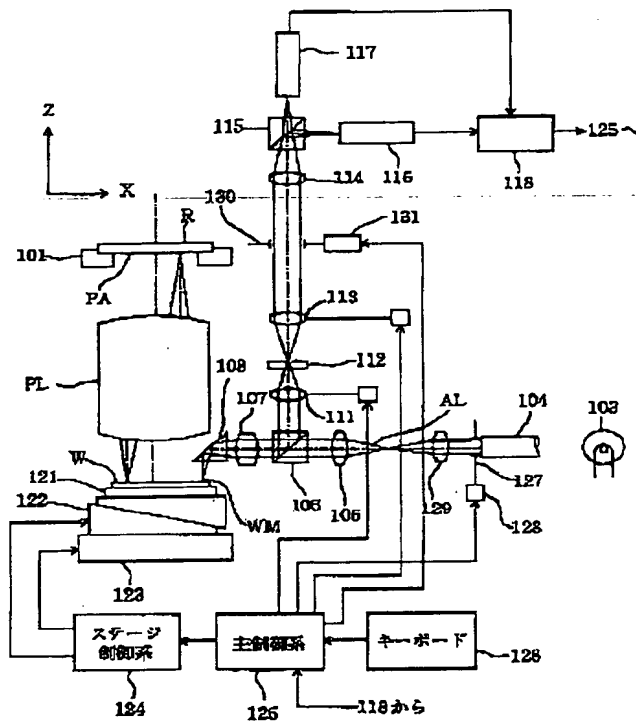


【図6】



特開平 9-49781

【図 8】



【図 9】

